



TITLE:

Black Hole-Neutron Star Merger -Effect of
Black Hole Spin Orientation and
Dependence of Kilonova/Macronova-(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Kawaguchi, Kyohei

CITATION:

Kawaguchi, Kyohei. Black Hole-Neutron Star Merger -Effect of Black Hole Spin Orientation and Dependence of Kilonova/Macronova-. 京都大学, 2017, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20169>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要約は2017-04-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	川口 恭平
論文題目	Black Hole-Neutron Star Merger –Effect of Black Hole Orientation and Dependence of Kilonova/Macronova– (ブラックホールと中性子星の合体-ブラックホールスピン傾斜角の効果及びエジェクタによる電磁波放射について)		
(論文内容の要旨)			
<p>ブラックホールと中性子星からなる連星(以下ではブラックホール・中性子星連星)の合体は、2015年9月から本格稼動中のアメリカの重力波検出器advanced LIGOの最も有望な重力波源の一つであり、また未だに正体が謎とされるショートガンマ線バーストの発生源天体の有力候補でもある。このような背景において、ブラックホール・中性子星連星の合体に伴って放射される重力波の特徴を明らかにすること、及び合体後に起こりうる高エネルギー天体現象の特徴を定量的に明らかにすることが、理論物理学者に求められている。ブラックホール・中性子星連星の合体過程は高度に非線形な一般相対論的流体現象である。したがって、一般相対論的な数値流体計算によってのみ、定量的に解き明かすことができる。合体现象は、ブラックホールと中性子星の質量、ブラックホールのスピン、中性子星の状態方程式に大きく依存すると予想されるので、その包括的解明には、これらのパラメータ範囲を広く取りながら数値計算を行う必要がある。この方面の研究は、過去10年の間に段階的に進捗したが、ブラックホールのスピン傾斜角を考慮に入れた研究や合体時に放出される物質(エジェクタ)からの電磁波放射に関する系統的な研究は、世界的にも見ても進みが遅かった。このような状況において、川口氏はブラックホール・中性子星連星の完全に一般相対論的な数値計算を、スピン傾斜角の効果を取り入れて実行するとともに、合体時に放出されるエジェクタから電磁波放射のモデル化を世界で初めて行った。そして、重力波波形の新たな解析方法を提案すると共に、重力波の波形や電磁波放射の光度曲線から中性子星の状態方程式が抽出可能なのかについて、新しい知見をもたらした。</p> <p>博士論文は以下のように構成されている。まず、第1章で研究の背景を、そして第2章ではブラックホールと中性子星に関する物理学的及び天文学的な既知の知見を概説している。第3章では、ブラックホール・中性子星連星の合体の定性的な描像を説明したのちに、過去の一般相対論的なシミュレーション研究について解説している。第4章では、本研究で用いる一般相対論的なシミュレーションの定式化、手法、及び計算結果の解析法に関して、丁寧な解説がなされている。</p> <p>第5章と6章に、川口氏オリジナルの研究内容が記述されている。まず第5章では、一般相対論的なシミュレーションの設定について説明したのちに、シミュレーションで得られた知見がまとめられている。今回の主題の1つは、ブラックホールのスピンの向きが軌道角運動量の向きに対して傾いている場合の合体现象を明らかにすることであるが、まずはそれを調べるための適切な初期条件の設定方法が特に詳しく記載されている。その後、数値シミュレーションから得られた新たな知見が続く。本論文では、中性子星が合体中にブラックホールにより潮汐破壊され、その後ブラックホールと降着円盤が誕生する場合に着目しているが、潮汐破壊現象のブラックホールのスピン傾斜角に対する以下のような依存性が示されている。まず、ブラックホール周りに形成される降着円盤の質量が、ブラックホールのスピンベクトルと軌道角運動量の方向ベクトルとの内積に依存して増減することが示されている。また、潮汐破壊</p>			

された中性子星物質の一部が潮汐破壊中に放出されるが、この量も同様の依存性を持つことが示されている。これらの事実は、ブラックホールスピン傾斜角の効果が、比較的単純な依存性で理解できることを示している。

ブラックホールスピン傾斜角が存在すると、合体前の連星の軌道は歳差運動を起こす。その結果、放射される重力波の振幅には、歳差運動に伴うモジュレーションが現れ、見かけ上非常に複雑な波形になり、波形から物理的情報を抽出する作業が一見難しいように見える。重力波波形からの物理量抽出法の確立は、重力波検出実験においては必須の課題であり、現在多くの活発な議論がなされている。川口氏は、本論文で mode decomposition 法という新たなアイデアを提案した。この方法を用いると、一見複雑な波形も少数の基本的なモードの和に分解できる可能性があるのだが、独自の数値計算結果を解析し、この方法が有望であることを示した。これは独創的かつ注目すべき結果である。

第6章では、合体中に放出される物質の量、および付随して起こる電磁波放射に関するモデル化の結果が示されている。モデル化にあたっては、過去に行われてきた多数の一般相対論的シミュレーションの結果が採用され、ブラックホールや中性子星に対する幅広いパラメータに対して成り立つ有用な結果が得られている。解析モデルは簡潔な形で構築されており、今後、ブラックホール・中性子星連星からの電磁波放射が観測されるようになれば、パラメータ推定の強力なツールになりうることを示されている。

第7章では、本論文のまとめと残された課題に関して簡潔に記載されている。

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文で記述されている物理的内容は、重力波天文学やそれを軸として行われる多波長天文観測に対して十分なインパクトがある。またそのみならず、中性子星の状態方程式の推定法を提案するという観点から原子核物理学に対しても貢献をもたらすものと評価できる。ブラックホール・中性子星連星系には多数のパラメータが存在するため、調べるべきパラメータ領域が広く、包括的な理解には未だ至っていない。そのような状況において、これまでに十分に理解されていなかったブラックホールスピン傾斜角の効果を調べ、特に複雑な重力波波形の解析法を新たに発案した点は高く評価できる。なお発表された関連論文2編は、既にPhysical Review DとAstrophysical Journalに掲載されており、英語も高い水準で書かれている。

本論文に関する審査会は平成29年1月13日に行われた。そこでは本論文に基づいて当該分野のレビュー及び手法の解説、新たに得られた知見の解説が行われた。プレゼンテーションも簡潔にして要領を得たものであり、質疑応答についても現在明らかになっている事実とまだ解明されていないことを明確に回答した。全体として審査会は円滑に行われ、質疑応答を含めて予定通りの時間内に完了した。

以上まとめると、本博士論文で得られた成果は重力波天文学を始めとする関連分野において博士(理学)の学位を与えるに質・量ともに十分なものであり、論文の体裁やプレゼンテーションについても学位に遜色の無いものである。以上の審査結果より、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年1月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 平成29年1月18日以降